

сти. Если конденсатор полностью заряжен, а торможение продолжается, то в работе остаётся только генератор на передней оси. Энергия конденсатора направляется в аккумуляторную батарею. Конденсатор продолжает подзаряжаться от генератора.

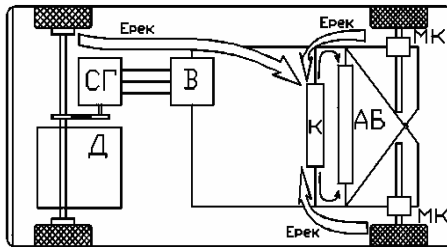


Рис.5 – Работа оборудования в режиме рекуперативного торможения

1. Туренко А.Н., Пятак А.И., Кудрявцев И.Н. и др. Экологически чистый криогенный транспорт: современное состояние проблемы // Вестник ХГАДТУ: Сб. науч. тр. Вып.12-13. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 2000. – С.42-47.

2. Богомолов В.А., Кудрявцев И.Н., Пятак А.И. и др. Развитие новейших криогенных технологий для перспективных видов автомобильного транспорта // Автомобильный транспорт: Сб. науч. тр. Вып.12. – Харьков: РИО ХНАДУ, 2004. – С.67-69.

3. Смирнов О.П. Тенденция створення екологічно чистого транспортного засобу // Автомобільний транспорт: Сб. науч. тр. Вып.17. – Харьков: РИО ХНАДУ, 2005. – С.103-107.

Получено 28.09.2009

УДК 629.423

В.Б.БУДНІЧЕНКО, В.О.ШМАТКОВ, кандидати техн. наук,
Р.Ф.ЯБЛОНСЬКИЙ

ДП «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут
міського господарства», м.Київ

АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ РУХУ РУХОМОГО СКЛАДУ

Аналізуються математичні моделі визначення опору руху.

Анализируются математические модели определения сопротивления движению.

It is considered mathematic models that determines resistance of motion.

Ключові слова: рухомий склад, трамвайний вагон, тролейбус, опір руху.

Парк рухомого складу в Україні налічує близько 12 різних типів трамвайних вагонів та 15 типів тролейбусів виробництва Росії, Чехії, Німеччини, Румунії, України, які мають різну споряджену, номінальну та максимальні маси та різні типи приводів.

Одним з основних факторів, що впливають на його енергетичні показники, є опір руху. Систематичний контроль величини опору руху й проведення ремонтно-регулювальних робіт сприяє зниженню енер-

гетичних втрат під час руху транспортного засобу. Крім того, такий контроль дозволяє підвищити надійність роботи транспортних засобів й знизити витрати запасних частин.

В умовах обмеженого фінансування підприємств міського електричного транспорту актуальним є пошук шляхів зменшення експлуатаційних витрат, що в свою чергу потребує виконання досліджень з метою перегляду математичних моделей визначення опору руху чи обґрунтування можливості їх застосування для нових конструкцій рухомого складу України. Наявність таких моделей дасть змогу порівнювати різні конструкції рухомого складу для визначення найкращої.

Поширення використання тролейбусів для перевезення пасажирів у 1950-1960 рр. сприяли виконанню досліджень щодо витрат електричної енергії тролейбусами. Опір руху як основна складова, що впливає на витрати енергії, було розглянуто в дослідженнях, виконаних С.А.Ребровим [1]. За результатами цих досліджень було визначено узагальнену модель повного опору руху й отримано моделі опору руху для тролейбусів, що перебували на той час в експлуатації.

Дослідження опору руху були продовжені М.П.Кутиловським [2], а пізніше В.Ф.Векличем [3], за результатами яких було визначено математичні моделі опору руху для трамвайних вагонів і тролейбусів, а також методи контролю.

З появою більш удосконалених моделей трамвайних вагонів і тролейбусів на заводі «Динамо» (м.Москва, Росія) було виконано дослідження їх опору руху й отримано математичні моделі для його визначення.

Мета даного дослідження – визначення загального виду математичної моделі опору руху на підставі аналізу результатів попередніх досліджень.

Згідно з результатами досліджень С.А.Реброва [1], узагальнена модель повного опору руху тролейбуса має вигляд:

$$W = W_O \pm W_{II} \pm W_B + W_K + W_a \pm W_{II} , \text{ кг}, \quad (1)$$

де W_O – основний опір руху; W_{II} – опір підйомів (уклонів); W_B – опір вітру; W_K – опір руху під час повороту; W_a – тимчасових опір руху, що залежить від стану дорожнього покриття; W_{II} – динамічний опір руху.

Для забезпечення можливості порівнювати опір руху тролейбусів з різною масою автором [1] запропоновано відносити повний опір руху до ваги тролейбуса:

$$w = \frac{W}{G_T + G_H}, \text{ кг/т}, \quad (2)$$

де G_T – вага тролейбуса в спорядженому стані, т; G_H – вага навантаження тролейбуса, т.

В рівнянні (1) значення складових W_{II} , W_K , W_a залежать від умов руху. За однакових умов руху і з урахуванням (2) найкращою конструкцією можна вважати таку, що задовольняє умові

$$w_0^1 < w_0^2. \quad (3)$$

Тому в подальшому будемо розглядати тільки складові, що залежать від конструкції транспортного засобу (W_O , W_{II}).

З урахуванням рівнянь для визначення окремих складових опору руху, описаних в [1], загальне рівняння в частині, що стосується тільки конструкції тролейбуса, буде таким:

$$w_O = K_D (w_T + bV) + K_O s_L V^2, \text{ кг/т}, \quad (4)$$

де w_O – основний опір руху з урахуванням опору повітряного середовища; V – швидкість руху транспортного засобу, км/год; b – коефіцієнт, що залежить від типу та технічного стану транспортного засобу; K_D – коефіцієнт, що залежить від типу і стану дорожнього покриття; w_T – питомий опір трансмісії, кг/т; K_O – коефіцієнт обтікання, який залежить від форми тіла, що рухається та його технічного стану; s_L – лобова поверхня транспортного засобу, м².

Оскільки визначення опору руху виконують, коли холодний асфальт, то рівняння (4) може мати спрощений вигляд:

$$w_O = w_T + bV + cV^2, \text{ кг/т}. \quad (5)$$

За результатами експериментальних досліджень [1] було визначено значення коефіцієнтів, що входять до рівняння основного опору руху для тролейбусів типу МТБ, які рухаються по холодному асфальту та перебували в експлуатації у 60-х роках минулого століття:

- для руху в спорядженому стані

$$w_O = 14,5 + 0,12V + 0,0026V^2, \text{ кг/т}; \quad (6)$$

- для руху з навантаженням

$$w_O = 13,3 + 0,10V + 0,002V^2, \text{ кг/т}. \quad (7)$$

Рівняння для визначення основного питомого опору руху для тролейбусів типу МТБ з будь-якою вагою під час руху по асфальту має вигляд [1]:

$$w_o = K_d \left(5,8 + \frac{26}{\sqrt{G}} \right) + \left(0,04 + \frac{0,7}{G} \right) V + 0,0023 V^2, \text{ кг/т.} \quad (8)$$

Для тролейбусів типу ЯТБ-1, з яких починалося перевезення пасажирів тролейбусами в Україні, застосовували рівняння

$$w_o = \left(8,2 + \frac{20}{\sqrt{G}} \right) + \left(0,06 + \frac{0,89}{G} \right) V + \left(0,0031 + \frac{0,0107}{G} \right) V^2, \text{ кг/т.} \quad (9)$$

Математичні моделі опору руху трамвайних вагонів, отримані М.П.Кутиловським [2], мають вигляд:

- для режиму тяги трамвайного вагона

$$w_o = 1,5 + \frac{45 + 0,062 V^2}{G} 9,81, \text{ Н/кН,} \quad (10)$$

де G – вага транспортного засобу, кН;

- для режиму вибігу трамвайного вагона

$$w_o = 1,5 + \frac{8 + 0,038 V^2}{G} 9,81, \text{ Н/кН;} \quad (11)$$

- для режиму тяги трамвайних потягів

$$w_o = 1,5 + \left(\frac{51}{G} + \frac{6,75 + 0,7z}{G} \cdot \frac{V^2}{100} \right) 9,81, \text{ Н/кН,} \quad (12)$$

де z – кількість трамвайних вагонів у потязі;

- для режиму вибігу трамвайних потягів

$$w_o = 1,5 + \left(\frac{48}{G} + \frac{5,5 + 0,7z}{G} \cdot \frac{V^2}{100} \right) 9,81, \text{ Н/кН.} \quad (13)$$

Опір руху трамвайних вагонів типу РВЗ, які вже не перебувають в експлуатації, визначали за математичними моделями, отриманими на заводі «Динамо» (м.Москва, Росія):

- для режиму вибігу

$$w_o = 5 + 0,0031 V^2, \text{ Н/кН;} \quad (14)$$

- для режиму тяги

$$w_o = 0,9(5 + 0,0031 V^2), \text{ Н/кН.} \quad (15)$$

Опір руху для тролейбусів типу ЗІУ 5, які також давно виведено з експлуатації, визначали за такими математичними моделями:

- для режиму вибігу

$$w_o = 12 + 0,004 V^2, \text{ Н/кН;} \quad (16)$$

- для режиму тяги

$$w_o = 0,9(12 + 0,004 V^2) \text{ Н/кН.} \quad (17)$$

Таким чином, усі розглянуті емпіричні залежності опору руху рухомого складу, що перебував в експлуатації, мали узагальнену математичну модель вигляду:

$$w_o = a + bV + cV^2, \quad (18)$$

де a – коефіцієнт, що характеризує внутрішній опір рухомого складу (РС); b – коефіцієнт, який залежить від типу і технічного стану транспортного засобу; c – коефіцієнт, що характеризує опір повітряного середовища, опір від механічних втрат у приводі, вплив колісних пар.

На підставі аналізу математичних моделей визначення опору руху, запропонованих в роботах [1, 2], можна зазначити, що рівняння опору руху є поліномом другого степеня, коефіцієнти якого залежать від режиму руху та типу рухомого складу.

Всі відомі числові значення коефіцієнтів, що використовуються для розрахунку опору руху, було визначено експериментально понад 40 років тому для тролейбусів типу МТБ, ЯТБ-1, К6, ЗІУ-5, СВАРЗ і трамвайних вагонів типу Т2, РВЗ-6, КТМ-1, КТМ-2, які давно виведені з експлуатації в Україні.

Слід зазначити, що за останній час в Україні з'явилися нові типи рухомого складу вітчизняного та іноземного виробництва, а саме тролейбуси типу Т501, Т601, Т801, а також трамваї типу 71-154М, Т-3ВПА та ін.

Зазначена проблема розглядалася на міжнародній науково-практичній конференції з енерго- та ресурсозбереження в житлово-комунальному господарстві [4].

Застосування розроблених раніше математичних моделей опору руху для сучасного рухомого складу потребує дослідження можливості їх використання або визначення числових значень коефіцієнтів залежно від типу рухомого складу.

1.Ребров С.А. Расход электроэнергии на движение троллейбусов. – К.: Главиздат Мин-ва культуры УССР, 1958. – 100 с.

2.Кутыловский М.П. Электрическая тяга. – М.: Главполиграфпром Совета Министров СССР, 1970. – 262 с.

3.Веклич В.Ф. Диагностирование технического состояния троллейбусов. – М.: Транспорт, 1990. – 293 с.

4.Шматков В.О., Яблонський Р.Ф. Проблеми визначення витрат енергоносія на подолання опору руху сучасного рухомого складу // Матеріали І міжнародн. наук.-практ. конф. «Проблеми, перспективи та нормативно-правове забезпечення енерго-, ресурсо-

збереження в житлово-комунальному господарстві». – Алушта: ХО НТТ КГ та ПО, ХНАМГ, 2009. – С.254-255.

Отримано 29.09.2009

УДК 656

С.В.ОЧЕРЕТЕНКО, канд. техн. наук

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ОРГАНІЗАЦІЯ МІСЬКОГО РУХУ В УМОВАХ ВИСОКОЇ АВТОМОБІЛІЗАЦІЇ

Розглядається розвиток найбільших міст України при збільшенні рівня автомобілізації. Пропонуються методи щодо поліпшення умов пересування мешканців міста.

Рассматривается развитие крупнейших городов Украины при увеличении уровня автомобилизации. Предлагаются методы по улучшению условий передвижения жителей города.

Authors consider development of major Ukrainian cities under condition of increasing of automobilization level. Methods of improvement of citizen's transportation quality are proposed.

Ключові слова: автомобілізація, вулично-дорожня мережа, інтенсивність, пропускна спроможність, міський громадський транспорт.

Розвиток крупних міст України в першій половині ХХІ ст. здійснюється під особливим впливом фактора автомобілізації населення [1]. За останні роки Україна з країни з низькою автомобілізацією перейшла в епоху високої автомобілізації (на початку 2000-х років всього 93 автомобілі на 1000 мешканців, наприкінці 2008 р. цей показник зріс до 172 автомобілів) [1]. Проте, на думку більшості аналітиків, первинне насичення автопарку закінчиться на відмітці близько 220 автомобілів на 1000 мешканців і триватиме до величини 250 автомобілів на тисячу жителів [1]. Наприклад, у 1999 р. в Харкові особистих автомобілів налічувалося 200 тис., а в 2008 р. – 244 тис. Загострення транспортних проблем в найбільших містах України вимагає заходів, що дозволяють вирішувати наступні задачі: підвищення пропускної спроможності вулично-дорожньої мережі (ВДМ); підвищення швидкості руху. Розвиток автомобілізації населення – процес практично некерований, про що свідчить досвід як європейських країн, так і країн СНД. Отже, при низьких темпах розвитку ВДМ транспортні ускладнення виявлятимуться у все більш складній формі [1-3].

Вулично-дорожні мережі (ВДМ) під впливом автомобілізації, що росте, змінюються. Зміни повинні супроводжуватися відповідною системою загальнодержавної статистики, що дозволяє виявляти тенденції і закономірності. Проте в СРСР, а нині й Україні, статистика розвитку